

## KANDUNGAN GAS BIOGENIK DAN TERMOGENIK GAS SEDIMEN DASAR LAUT DI PERAIRAN SELAT MADURA (PENGARUHNYA TERHADAP SIFAT FISIK DAN KETEKNIKAN)

*A. Faturachman, R. Rahardiawan dan A. Sianipar*

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan  
Jl. Dr. Junjuran 236 Bandung 40174

### Sari

*Sedimen dasar laut di daerah perairan Madura dan sekitarnya umumnya mengandung kandungan gas yang dampaknya terhadap sifat fisik sedimen dasar laut sangatlah signifikan. Hal ini kaitannya dengan rencana peletakan pondasi bangunan infrastruktur di Perairan Selat Madura dan sekitarnya. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pemboran dimulai dari kedalaman 1 hingga 20 m dibawah permukaan dasar laut mengandung gas biogenik.. dengan kandungan metana berkisar 50 hingga 60 ppm sedangkan kandungan propana dan isobutana kurang dari 0,2 ppm. Kedalaman lebih dari 20 m dibawah permukaan dasar laut hingga 60 m adalah gas termogenik. Konsentrasi maksimum gas termogenik berupa propana, isobutana dan etana pada kedalaman 52.85 m berkisar dari 0,1 hingga 8,453 ppm.*

*Dari kedua tipe gas ini tahap pembentukan diagenesanya berbeda akibat pengaruh temperatur yang berbeda, sehingga mempengaruhi stabilitas sifat fisik dan keteknikan sedimennya pun berbeda pula. Untuk itu dalam perencanaan pembangunan infrastruktur kelak perlu diantisipasi dengan keberadaan gas tersebut.*

### Abstract

*Sea bottom sediment in Madura waters and surrounding area in generally contains gas which the impacts to physical and engineering properties of sea bottom sediments are very significant. It is connecting with the place of infrastructure building in Strait Madura waters and surrounding area. Based on core drilling the biogenic gas is already contented starting from surface 1 to 20 m depth. It contents methane around 50-60 ppm, propane and isobutene less than 0,2 ppm. The second is thermogenic gas which place more than 20 m depth until 60 m, the maximum concentrates of thermogenic gas (propane, isobutene and ethane) in 52,85 depth are around 0,1 – 8,453 ppm.*

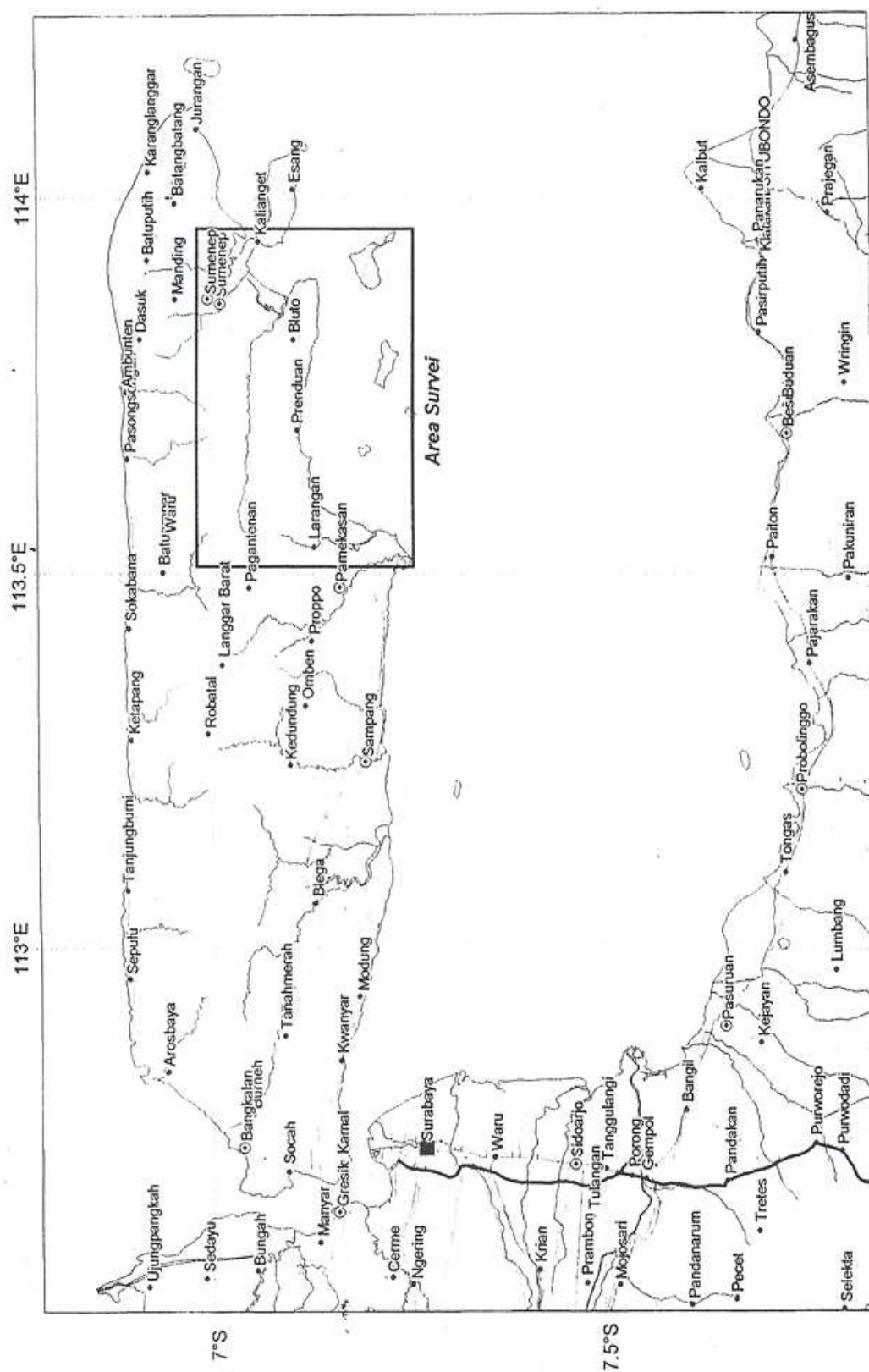
*From both types, the formation method in diagnoses phase is different, because of different of temperature so in influence the stability of physical and engineering properties sediment will be different. For that the plan of infrastructure development should be anticipated by existence of the gas.*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Di kawasan perairan Selat Madura dan laut Jawa Pantura dan sekitarnya (**Gambar 1**). pada umumnya kondisi sedimen bawah dasar laut di daerah ini berdasarkan data seismik dan pemboran inti banyak mengandung gas biogenik dan gas termogenik yang genesanya berbeda dan dapat dibedakan atas keberadaan batuan sumber (*source rocks*) nya, migrasi, batuan reservoir, cebakan dan lapisan penutup. Gas biogenik terbentuk oleh bakteri dan hewan dan dapat didefinisikan sebagai

metana yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik karena terbentuk oleh aktivitas organik pada suhu rendah pada sedimen modern saja. Sedangkan termogenik terbentuk akibat kegiatan tektonik dengan suhu tinggi dan umumnya terdapat di bawah permukaan yang sangat dalam walaupun muncul ke kedalaman dangkal mekanisme penetrasi melalui celah-celah. Sehubungan keberadaan gas tersebut sejalan dengan rencana ke depan untuk pengembangan bangunan infrastruktur di kawasan perairannya kandungan gas dalam sedimen sangatlah berpengaruh terhadap kestabilan pondasi yang akan di letakan pada sedimen tersebut, keterdapatannya biogenik gas



Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penyelidikan

diperoleh dari data bor pada kedalaman 1 – 20 m, sedangkan lebih dari 20. m hingga 60 m adalah gas termogenik. Untuk itu karakteristik perairannya serta sifat fisik dan keteknikan sedimen dasar laut di daerah ini perlu dikaji secara seksama, yang tentunya secara tidak langsung gas tersebut akan mengganggu susunan jaringan struktur besar butir (*void ratio*) sedimen mengakibatkan berubahnya karakteristik susunan mineral yang dikandungnya serta sifat fisik dan keteknikan sedimen yang nantinya akan mengganggu kestabilan daya dukung sedimen yang akan menumpu pondasi bangunan diatasnya. Perlu diketahui bahwa dalam tulisan ini merupakan studi pendahuluan berdasarkan hasil pemboran dan seismik serta hasil analisis *gas chromatograph*. Mudah-mudahan laporan ini bisa dijadikan sebagai data awal sebagai bahan pertimbangan kaitannya dengan rencana pembangunan infrastruktur di perairan Selat Madura.

## Maksud dan Tujuan

Maksud dari pada penelitian adalah untuk inventarisasi data awal guna sebagai bahan pertimbangan untuk rencana pengembangan pembangunan infrastruktur di perairan Selat Madura dan sekitarnya untuk mengantisipasi dengan adanya kandungan gas biogenik. Tujuannya untuk bisa di manfaatkan bagi pemerintah daerah dalam membuat tata guna ruang di daerah pesisir dan perairannya.

## GEOLOGI REGIONAL

Secara umum daerah penelitian termasuk bagian cekungan Jawa Timur Utara, secara geologi bagian selatan Madura berhubungan dengan aktivitas tektonik mulai miosen hingga holosen, yaitu dengan terjadinya pengangkatan dan penerunan berulang kali, yang mengakibatkan terbentuknya sejumlah formasi batuan terendapkan pada lingkungan laut dangkal (*litoral-sublitoral*) pada kurun yang berbeda. Selat Madura dan sekitarnya termasuk dalam kompleks geologi Randublatung yang tersebar dengan urutan batuan dari tua ke muda dapat dinedakan atas Formasi Tawun, Ngrayong, bulu, Pasean dan Formasi Madura pada lembar peta geologi Lembar Waru-Sumenep (Situmorang, drr., 1992). Secara umum daerah penelitian dari tua ke muda (**Gambar 2**).

### a. Formasi Tawun

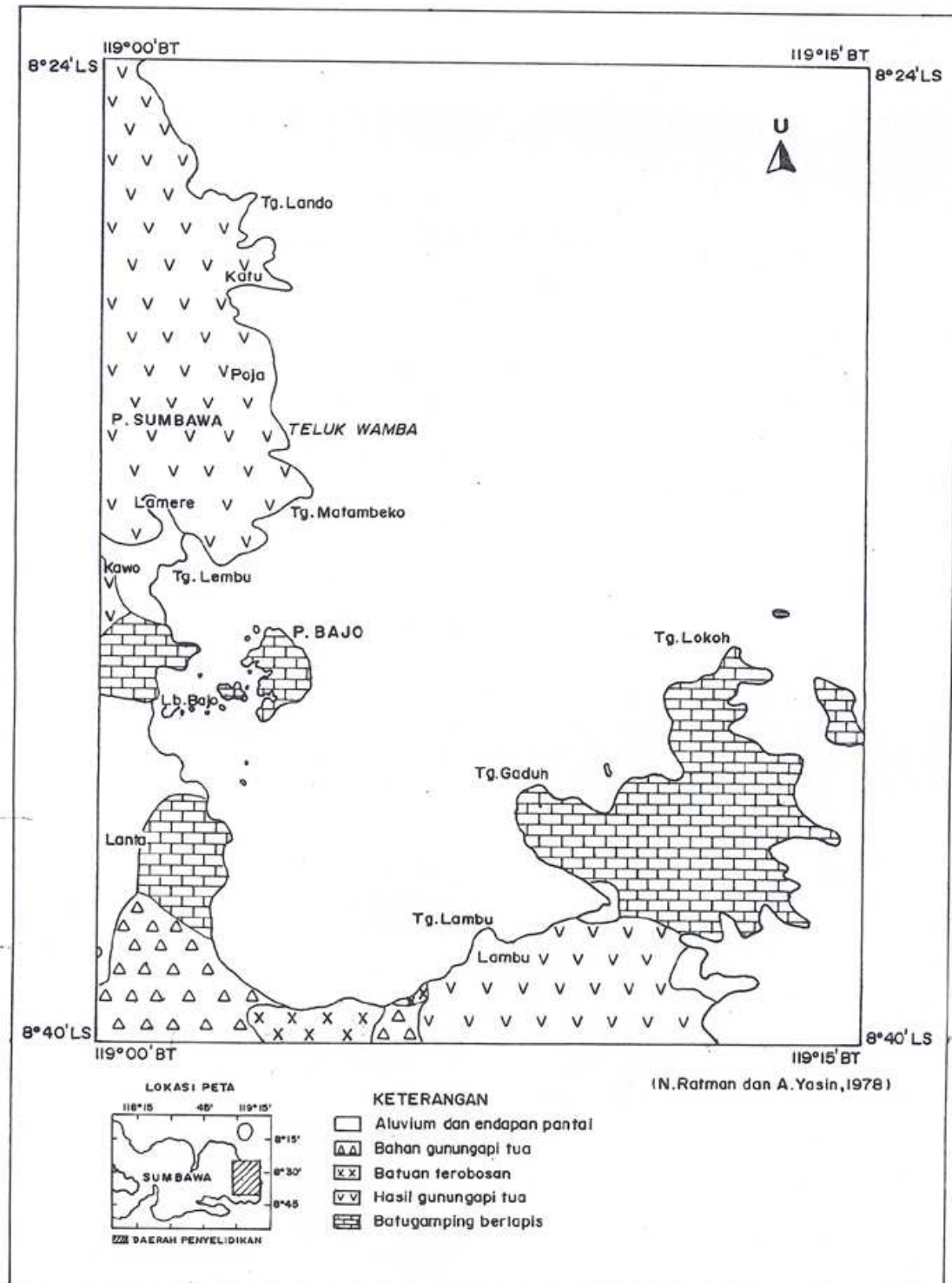
Terdiri daai batugamping, napal batugamping lempungan dengan sisipan batugamping Orbitoid, batulempung setempat dijumpai menyerpih, mengandung mika dan sisa tumbuhan dan kearah atas berangsur berubah menjadi gampingan, Napal, setempat dijumpai kepingan aragonit dan berselingan dengan batugamping lempungan, sisipan batugamping orbitoid mencapai ketebalan 3 – 4 meter. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 300 meter, berumur Miosen awal-Miosen tengah (N5 – N12) dan merupakan endapan laut agak dangkal.

### b. Formasi Ngrayong

Formasi Ngrayong menumpang secara selaras di atas Formasi Tawun dan tersusun oleh batupasir kuarsa berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, Batu pasir kuarsa berbutir halus hingga kasa (*fine to coarse grain*), kurang kompak hingga lepas (*medium dense to loose*) tersusun oleh kuarsa, *felspar*, mika dan mineral hitam, bagian bawah ukuran butir lebih halus dan lempungan. Bagian atas secara setempat dijumpai oksida be dan karbonat, batugamping orbitoid berlapis baik dengan ketebalii lan antara 2 -15 meter makin rapat dan tebal ke arah atas. Batulempung dijumpai sebagai selingan dibagian tengah dan atas, bersifat kurang padat (*medium dense*), mikaan, mengandung gipsium dan sisa tumbuhan. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 600 meter

### c. Formasi Bulu

Formasi Bulu menindih secara selaras Formasi Ngrayong, tersusun atas batugamping pellet dengan sisipan napal pasiran. Batugamping pellet, pasiran berbutir halus-kasar, padat hyingga sangat padat, berlapis dengan dengan ketebalan 5 – 20 cm dengan kepingan pasir berupa kalsit, kuarsa dan sedikit glaukonit. Umur formasi ini adalah Miosen Tengah bagian ata, memiliki ketebalan sekitar 600 meter, dan merupakan endapan laut dangkal (*litoral*).



GAMBAR 2. PETA GEOLOGI DAERAH PENYELIDIKAN



#### d. Formasi Pasean

Formasi Pasean menumpang secara selaras diatas Formasi Bulu, tersusun atas perselingan napal dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran dan batugamping oolit, napal sedikit pasiran, berbutir halus-sedang, pdat, berlapis baik, mengandung sedikit kuarsa. Batugamping lempungan, padat-sangat padat, berbutir halus-sedang, pasiran, berlapis baik pada bagian bawah, lempungan, mengandung sedikit kuarsa dan oksida besi dan setempat dijumpai batugamping oolit. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 600 meter, berumur Miosen Akhir, dan merupakan endapan laut dangkal (*inner sublitoral*).

#### e. Formasi Madura

Formasi Madura menutupi seluruh formasi yang lebih tua secara selaras dan tidak selaras, diduga berumur Pliosen untuk daerah ini, sedangkan pada lembar Tanjung Bumi-Pemekasan dan Lembar Surabaya-Sapulu berumur Miosen akhir-Pliosen. Formasi Madura disusun pula oleh batugamping terumbu dan batugamping dolomitan. Batugamping. Batugamping terumbu bersifat padat, permukaannya berongga, setempat dolomitan. Satuan ini beragam antara batugamping kapiuran pada bagian bawah, batugamping pasiran, batugamping oolit, batugamping hablur dan batugamping dolomitan. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 250 meter, dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal, terbuka, tenang dan hangat.

#### f. Formasi Pamekasan

Formasi Pamekasan menindih secara tidak selaras diatas formasi Madura, tersusun atas konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping. Konglomerat, bersifat kompak, padat, terpilah buruk dengan komponen dasar berupa batugamping foraminifera dan batugamping hablur dengan masa dasar berupa pasir halus-kasar, dan membentuk lapisan hampir datar dengan ketebalan sekitar 4 meter. Batupasir berbutir sedang-kasar, kurang kompak, mengandung kepingan kuarsa dan karbonat, sisa tumbuh-an, dengan ketebalan 5-8 cm dan berselingan dengan batulempung pasiran. Berdasarkan hubungan yang tidak selaras di atas Formasi Madura, maka Formasi ini diperkirakan berumur Pliosen.

#### g. Aluvium

Mulai kala Holosen hingga saat ini terjadi proses erosi formasi batuan yang lebih tua dan membentuk endapan alluvium, yang tersusun atas fraksi lepas berukuran lempung-kerakal dan terumbu koral hidup.

### METODA PENELITIAN

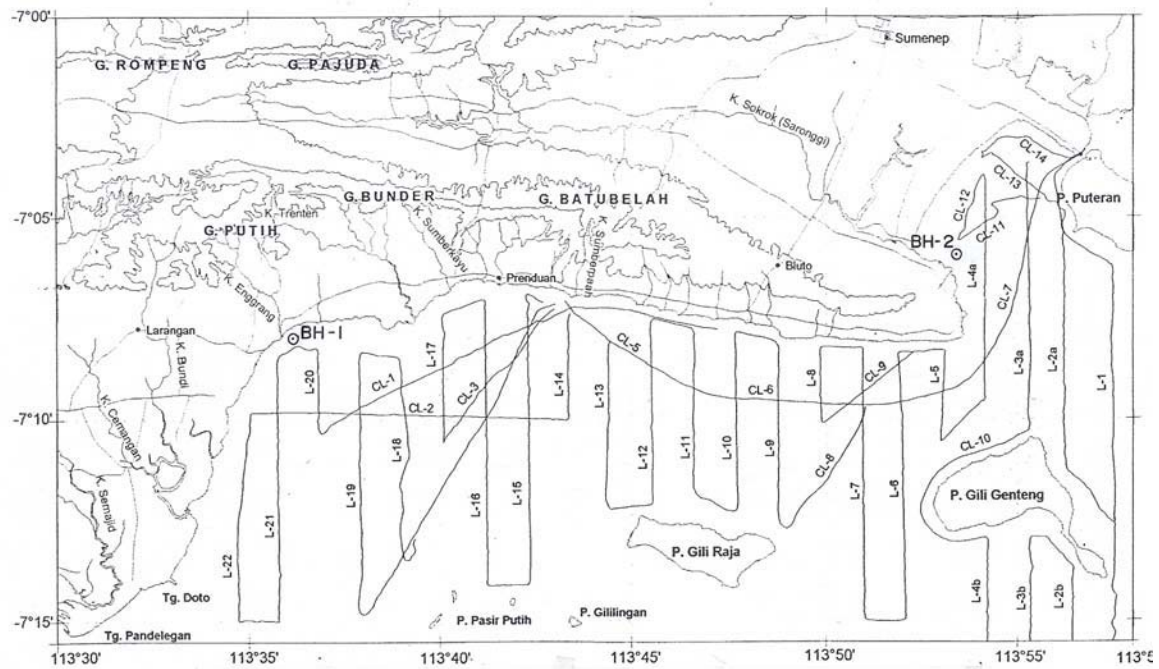
Dalam menunjang penelitian ini difokuskan kepada metoda penelitian terdiri dari :

#### a. Pemeruman (*echosounding*)

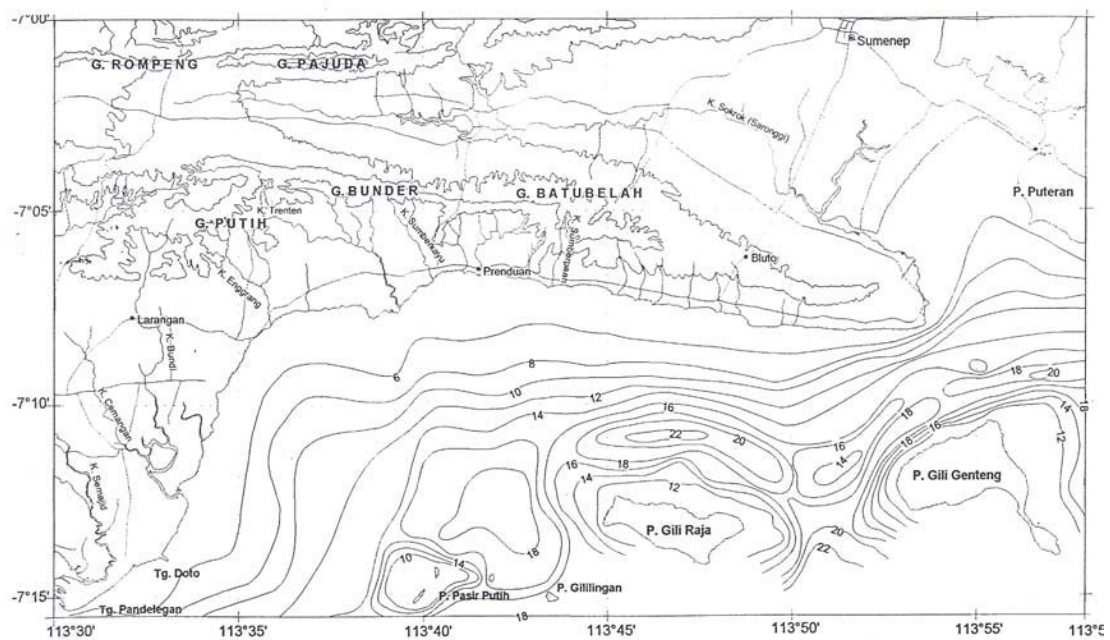
Untuk mengetahui morfologi dan kedalaman dasar laut, pelaksanaannya bersamaan dengan kegiatan seismik pantul dangkal. Data kedalaman kemudian dituangkan ke dalam peta batimetri setelah dikoreksi dengan data pasang surut. Prinsip kerja dari pemeruman ini pengiriman pulsa energi gelombang suara dari permukaan laut melalui transmitting transducer secara vertikal ke dasar laut, dipantulkan kembali dan diterima akan ditransformasikan menjadi pulsa energi listrik ke receiver, kemudian sinyal direkam pada recorder dalam bentuk grafis

#### b. Seismik pantul dangkal (*Shallow reflection seismic*)

Prinsip kerja seismik pantul dangkal saluran tunggal (*single channel*) adalah gelombang akustik yang ditimbulkan oleh spark array di kirim ke bawah permukaan laut. Hasil pemantulan gelombang ini akan diterima oleh *hydrophone* yang kemudian direkam dalam bentuk penampang seismik pada kertas rekaman. Dengan melalui lintasan seismik yang telah ditentukan (**Gambar 3**). Pengambilan data menggunakan sistem sparkarray dengan catu daya 300 Joule, sapuan  $\frac{1}{4}$  detik, sebagian  $\frac{1}{2}$  detik, *firing rate*  $\frac{1}{2}$  detik, frekuensi 250-3000 Hz, dan remark penampang seismik pada kertas dilakukan selang 10 menit. Data seismik diolah secara manual dengan menarik sekuen dan subsekuen dari konfigurasi pantulan-akustik yang diperlihatkan ninterpretasi geologi sebagai parameter dari seismik (R.M. Michum, Jr., C.E., 1977).



GAMBAR 3. PETA LINTASAN SURVEI GEOFISIKA DAN LOKASI PEMBORAN



Gambar 4. Peta Batimetri Daerah Penelitian (Perairan Pamekasan-Sumeneo, Madura-Jawa Timur)

### c. Pemboran inti

Pemboran inti dilakukan di 2 (dua) lokasi terpilih titik lokasi 1 ditempatkan di perairan desa Talang Siring, Kecamatan Larangan, Pamekasan, dan titik lokasi 2 di sekitar muara sungai Saranggi, desa Dadap timur, Kec. Saronggi, Sumenep (**Gambar 3**). Maka hasil dari pemboran ini untuk mendeteksi sedimen yang mengandung bermuatan gas biogenik dan gas termogenik sehingga bisa mengantisipasi untuk kemungkinan terjadinya petaka geologi atau mengganggu kestabilan pondasi kelak bila sudah diletakan. Penetrasi pemboran masing-masing dalam operasional-nya menembus kedalaman hingga 60 meter.

## PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

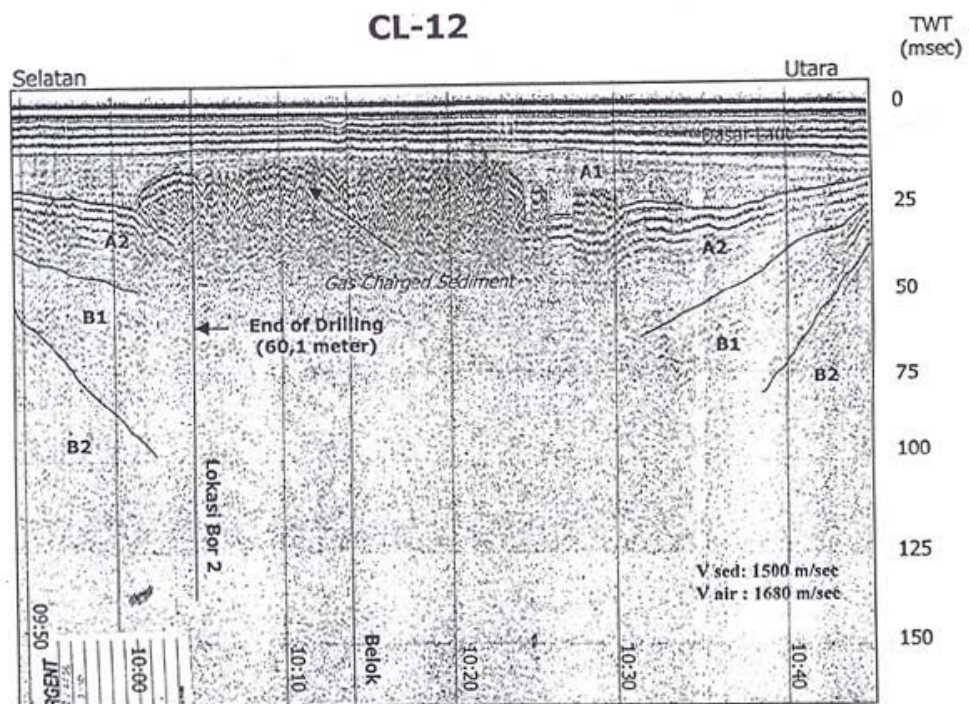
Dari hasil pemeruman berupa peta batimetri bahwa morfologi dasar laut daerah penelitian ini relatif datar dengan sudut kemiringan dasar laut relatif kecil ( $< 10\%$ ), kontur kedalaman pada kedalaman 14 meter memperlihatkan pola sejajar pantai, dan berjarak sekitar 6 km dari garis pantai. (**Gambar 4**). Hasil rekaman seismik dari beberapa lintasan umumnya yang berarah Utara Selatan. alas akustik basement jauh dibawah kemampuan penetrasi, namun demikian gejala tektonik telah dapat terdeteksi. dan berdasarkan analisa penampang seismik dapat dibagi dalam 2 (dua) sekuen yang berumur kuartar kandungan biogenik gas dalam sedimen sangat tinggi (**Gambar 5**). Rekaman seismik yang lain juga memperlihatkan adanya rangkaian singkapan punggungan antiklin dan atau diapir dengan arah sumbu relatif barat timur (**Gambar 6**). sedimen permukaan pada kedalaman 1 hingga 2 m dari hasil nalisis menunjukkan kandungan gas metana (biogenik gas) lebih dari 90% contoh yang mengandung gas metana (biogenik) khususnya pada sedimen fraksi halus (lempung). Kandungan metana dalam sedimen tertinggi yang dijumpai di sekitar teluk yaitu di desa Talang mencapai nilai maksimum 61.1 ppm dan di muara S. Seronggi mencapai 56 ppm. Pada conto yang berwarna hitam diperkirakan sebagai gas, yang berbau busuk, sangat lunak (*very soft*), jenuh air

(*saturated*). Gas lainnya hasil analisis adalah propana dan isobutana yang hadir dengan kadar kurang 0,2 ppm.

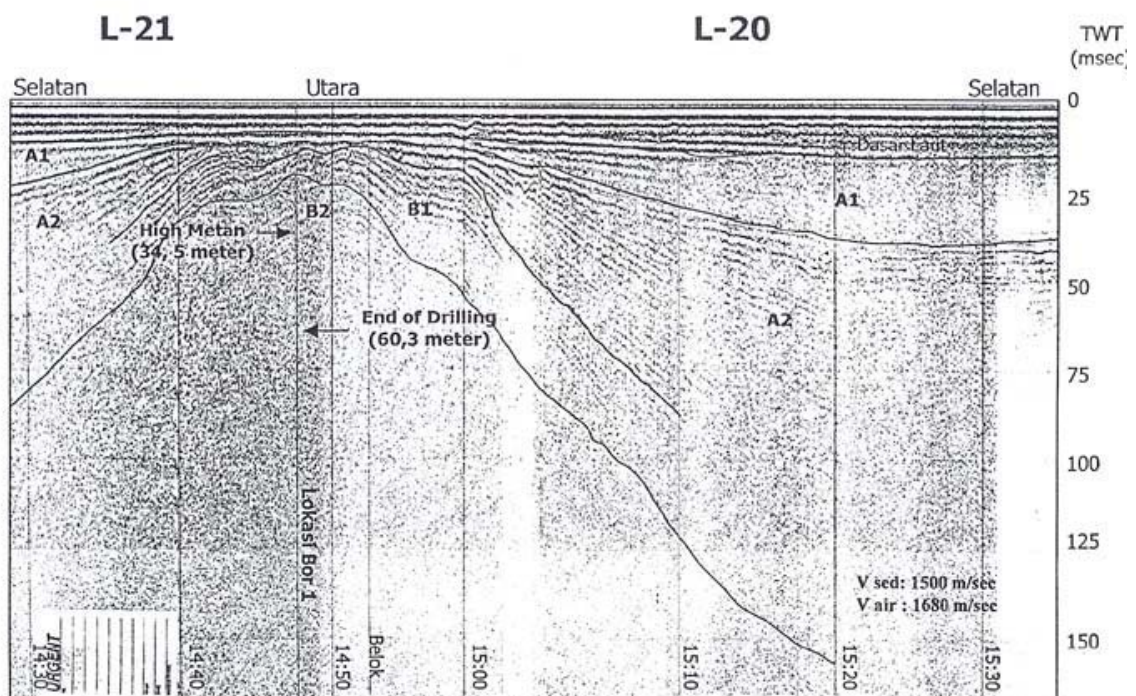
Dari hasil contoh bor sedimen yang terambil pada kedalaman 0.00 –20.00 meter. setelah di analisis *chromatograph* gas dan bakteri metanogen terlihat dari korelasi kandungan gas metana dan bakteri metanogenik pada pemboran BH-2 kehadiran gas biogenik dalam jumlah relatif sedikit (**Gambar 7**), jika dibandingkan dengan kehadiran gas termogenik. yang dijumpai dari 20 meter hingga 34 meter dan lebih dari kedalaman 34 meter kembali kandungan biogenik gas relatif sedikit, gas ini merupakan campuran antara metana biogenik dan termogenik. Sedangkan metana dalam jumlah tinggi dijumpai pada sedimen permukaan terdiri atas lempung hitam dan berbau. Kemungkinan besar metana yang terdapat dalam sedimen ini adalah metana biogenik hasil aktivitas bakteri metanogen merombak bahan organik dalam sedimen. Dari hasil analisis geokimia terhadap contoh dari hasil pemboran secara umum bahwa batuan sedimen di daerah selidikan tidak berpotensi sebagai batuan induk, terutama untuk hidrokarbon cair, tetapi kemungkinan gas biogenik terbentuk yang memiliki TOC melimpah dan PY rendah, terdapat pada interval pada kedalaman 21.75 – 21.85 meter dari BH-1 (R. Rahardiawan, drr, 2003) ditunjang dengan hasil HI dan Metanogen yang menunjukkan bahwa suhu sedimen  $< 60^\circ$  dan T max masih dalam fase diagenesis yang terdapat di lokasi BH-1 dan BH-2, seperti diketahui bahwa metan biogenik terbentuk pada suhu rendah dalam fase diagenesis.

Sedimen pada BH-1 pada contoh kedalaman  $< 31$  m kerap mengandung M. Ruminantium, sedangkan lebih dari 31 m banyak dijumpai M. *paynteri*, pada lempung pasir, abu M. *ruminantium* dijumpai dominan pada contoh yang tersusun oleh lempung coklat, liat Sedangkan M. *paynteri* dijumpai pada lempung pasir, abu-abu kehijauan, yang umumnya sedimen laut. Sedangkan hasil dari pembotran pada kedalaman dimulai dari 10 m adalah metana kedalaman mencapai 20 m kandungan gas meningkat cukup signifikan hingga mencapai nilai maksimum 5632,3 ppm pada kedalaman 34 m hingga 37 m dan merupakan metana biogenik pada tahap diagenesis dalam pembentukan hidrokarbon



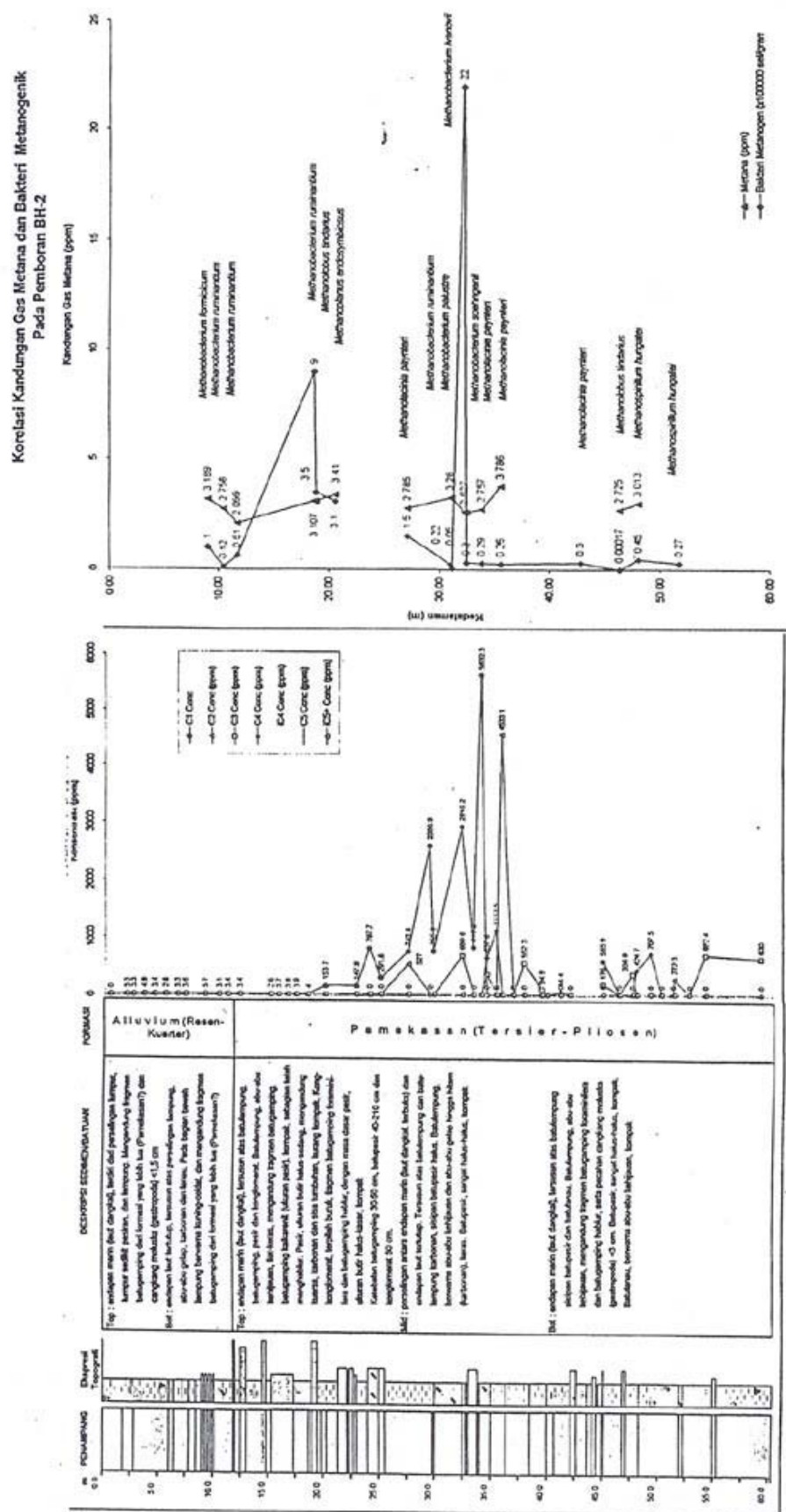


Gbr. 5. Lintasan CL-12, yang memperlihatkan adanya *gas charged sediment* dalam Sub-sekuen A1 di dalam suatu cekungan sedimentasi



Gbr. 6. Lintasan L-21 dan L-20, yang memperlihatkan adanya struktur geologi (antiklin) di bagian selatan Madura, serta lokasi Bor 1 (BH-1)





Gambar. 7. Korelasi Kandungan Gas Metana dan Bakteri Metanogenik pada Pemboran BH-2., Selat Madura,

dan lebih dalam lagi merupakan berupa gas metana termogenik. Sedangkan di lokasi BH-2 pada kedalaman lebih dari 50 m dan untuk menghasilkan hidrokarbon lebih kecil dan kandungan gas lebih kecil dibandingkan di BH-1, dan batuan BH-1 lebih tua dibandingkan dengan BH-2 pada kedalaman yang sama. Hal ini disebabkan oleh posisi BH-1 berada di puncak antiklin. Kandungan gas terdiri dari metana, etana, propana dan isobutana bervariasi 0.1 hingga 8.453 ppm.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Sedimen dasar laut di kawasan perairan Selat Madura pada umumnya banyak mengandung gas. Dengan keberadaan gas tersebut dalam kandungan sedimen dasar laut yang umumnya di sedimen permukaan jenis metana dalam jumlah tinggi terdiri atas lempung hitam dan berbau, sangat lunak, jenuh air (*saturated*) dan tidak plastis (Terzaghi and Peck, 1967). Kemungkinan besar metana yang terdapat dalam sedimen ini adalah metana biogenik hasil aktifitas bakteri metanogen merombak bahan organik. Sedangkan dalam sedimen dasar laut gas terdiri dari jenis gas metan dan metanogen yang sebarannya secara vertikal di daerah penyelidikan relatif cukup luas, kedalaman lebih dari 40 m dibentuk oleh gas termogenik, hal ini bisa dilihat dari data seismik dan pemboran inti. Dengan kejadian ini di kuwatirkan akan adanya bahaya geologi (*settlement*) kelak, maka ini perlu diantisipasi dengan memperhitungkan dan mempertimbangkan dalam tahap pelaksanaan peletakan pondasi bangunan infrastruktur di perairan selat Madura. Keberadaan kandungan gas biogenik ini terdapat di

kedalaman antara 10. hingga 20 meter relatif sedikit tetapi dari kedalaman 20 hingga lebih dari 40. meter.kandungan gas biogenik dan termogenik dalam sedimen dasar laut relatif tinggi, pengaruh penetrasi gas ke dalam sedimen akan mempengaruhi dan mengganggu serta merusak struktur jaringan (*void ratio*) butiran sedimen serta sifat kelulusannya (*permeability*) sehingga daya dukung sedimen untuk menumpu beban pondasi di atasnya akan tidak stabil.dan kelak tidak menutup kemungkinan mengalami terjadinya penurunan (*settlement*). Untuk mengantisipasi hal ini, pada saat pengerjaan dalam tahapan peletakan pondasi sebaiknya pondasi ditanam pada sedimen yang tidak mengandung gas biogenik, untuk itu sedimen dasar laut yang bermuatan gas tersebut analisis mekanika tanahnya mutlak perlu dilakukan analisis laboratorium mekanika tanah guna mengetahui sifat fisik dan keteknikan sedimen tersebut.sebagai bahan pertimbangan dan perhitungan dalam peletakan pondasi.yang baik dan aman dari bahaya geologi (penurunan).

## DAFTAR PUSTAKA

- Rahardiawan, R., drr, 2003. *Laporan Penyelidikan Potensi Gas Biogenik Perairan Selat Madura*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan
- Situmorang. R.L., drr. 1993, *Laporan Geologi Lembar Waru - Suimenep, skala 1 : 100.000*, Pusat Penelitian dan pengembangan geologi, Bandung
- Terzaghi and Peck., 1967. *Soil mechanics in Engineering Practice*. USA. ❖